

**TEKNIK PENJIMATAN TENAGA
PENGHAWA DINGIN BERPUSAT BERASASKAN
LOGIK KABUR**

HENDRI NOVIA BIN SYAMSIR

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Kejuruteraan (Elektrik)

Fakulti Kejuruteraan Elektrik
Universiti Teknologi Malaysia

JUN, 2003

***Khas untuk :
Ayahanda Drs Syamsir Dt Bagindo (alm)
dan Ibunda Rosmaini Noeh
Kakak, Adik serta Keponakan***

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur dipanjatkan kehadiran Allah subhaana wataala kerana dengan nikmat, rahmat dan kurnianya saya boleh menyelesaikan penulisan tesis ini.

Di sini saya ingin merakamkan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada penyelia saya PM. Md Shah Majid dan Prof. Dr S Shahnawaz Ahmed atas bantuan, nasihat dan bimbingan yang telah diberikan selama saya membuat pengajian di UTM untuk mempersiapkan dan menyelesaikan tesis ini.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar (MOSTE) atas sokongan kewangan (IRPA) dan Sekolah Pengajian Siswazah (SPS) UTM yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk melanjutkan pengajian saya ke peringkat sarjana, serta Universiti Teknologi Malaysia (UTM) yang telah memberikan sokongan untuk terlaksananya penyelidikan ini. Tidak lupa juga kepada seluruh pensyarah dan kakitangan Fakulti Kejuruteraan Elektrik serta kakitangan Makmal Sistem Tenaga, Makmal Kuasa Lanjut dan Makmal Mesin Asas Fakulti Kejuruteraan Elektrik dan Unit Harta Bina Universiti Teknologi Malaysia yang telah memberi kerjasama yang baik sepanjang penyelidikan ini.

Kepada Kakanda Saiful Jamaan M.Eng dan kawan seperjuangan yang sedang menuntut di UTM yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan terutama dalam pembuatan perisian maupun perkakasan semasa penyelidikan ini, saya ucapkan terima kasih di atas semua bantuanmu.

Semoga Allah akan membalaskan segalanya dengan kebaikan, Amin.

ABSTRAK

Dalam tesis ini, suatu skim telah dicadangkan untuk mengekalkan suhu dan kelembapan dalam setiap ruangan yang dibekalkan oleh penghawa dingin berpusat. Suhu dan kelembapan menghampiri nilai sasaran dengan ini akan dapat mengurangkan penggunaan tenaga elektrik dari pemampat. Had batas atas bagi kawasan keselesaan ialah 25°C bagi suhu dan 70% untuk kelembapan relatif digunakan sebagai sasaran. Dalam skim yang dibangunkan nilai-nilai suhu dan kelembapan dari setiap bilik, dibandingkan dengan nilai sasaran pada julat masa terpilih dan perbezaan yang sepadan di '*fuzzified*'. Perbezaan ini digunakan untuk menentukan kelayakan fuzzy yang digunakan ke nilai berkenaan bagi perubahan yang diperlukan dalam pengesetan termostat pada penghawa dingin. Dengan ini setiap bilik akan mengekalkan suhu dan kelembapan relatif menghampiri ke nilai sasaran iaitu 25°C dan 70%, di mana pemampat tidak akan bekerja sehingga tenaga dapat dijimatkan. Pemakaian tenaga dapat diturunkan dari 198 kWj /hari menjadi 170.51 kWj /hari dengan purata penjimatan tenaga adalah 27.49 kWj/hari. Penjimatan tenaga keseluruhan dalam satu bulan dengan kawalan secara berterusan adalah 659.76 kWj. Kebaikan skim yang dicadangkan antaranya adalah (i) mudah dan pragmatik, (ii) memerlukan hanya dua masukan saja untuk setiap ruangan yang dikawal, (iii) dapat memberikan tahap kesejukan secara universal, iaitu suatu tahap kesejukan yang dapat menyesuaikan hampir semua orang dalam berbagai keadaan cuaca.

ABSTRACT

In this thesis a scheme has been proposed to maintain the temperature and humidity, in each of the rooms served by a central Air Conditioner (AC) unit, close to the targeted values, and reduces the electrical energy intake of the AC compressor. The upper limits of the comfort zone, typically marked at a temperature of 25 °C and a relative humidity of 70%, are used as the targets. In the developed scheme, sensor captured temperature and humidity readings from each room are compared against targets at selected intervals of time, and the corresponding differences are fuzzified. These differences are used to decide the fuzzy qualifier, which is decoded into a crisp value, for the change required in the setting of the thermostat of the AC. As a result, each room will maintain a temperature near 25°C and a relative humidity near 70% while the compressor will remain off for an appreciable period leading to a saving of energy. The energy consumption can be reduced from 198 kWh/day to 170.51 kWh/day with the mean of energy saving is 27.49 kWh/day. In one month the total energy saving that has been controlled with continues controls are 659.76 kWh. The advantages of the proposed scheme for thermostat programming are that it (i) is simple but pragmatic, (ii) requires for each room only a pair of inputs that are directly objective oriented, and (iii) leads to a universal level of cooling in each room i.e. a level that can suit almost everyone under various conditions of the ambient weather.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	HALAMAN
	JUDUL	i
	PERAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xi
	SENARAI RAJAH	xii
	SENARAI SIMBOL	xv
	SENARAI LAMPIRAN	xviii
 BAB I	 Pengenalan	 1
	1.1 Dasar Perancangan	1
	1.2 Penjanaan Tenaga Elektrik di Malaysia	7
	1.3 Pengurusan Tenaga	9
	1.4 Kegunaan Tenaga Bagi Penghawa Dingin	9
	1.5 Kajian Literatur	10
	1.6 Objektif	13
	1.7 Skop Kajian	13
	1.8 Susunatur Tesis	14

BAB II	SISTEM PENGHAWA DINGIN	15
2.1	Pengenalan	15
2.2	Penghawa Dingin Pakej-Unit Penyejukan Air	16
2.2.1	Aliran Penyejukan Penghawa Dingin Pakej-Unit	22
2.2.1.1	Proses Pemampatan	22
2.2.1.2	Proses Pemeluapan	22
2.2.1.3	Proses Penyejatan	23
2.3	Gegelung Penyejuk dan Penurun Kelembapan	24
2.4	Haba dan Berat	25
2.4.1	Proses Perpindahan Haba	26
2.4.2	Rintangan Haba dan Kemuatan Haba	28
2.5	Konservasi Berat	32
2.5.1	Proses Gas Unggul dan Wap	32
2.6	Sistem Saluran Udara	33
2.7	Pelbagai Beban Haba Penghawa Dingin	35
2.7.1	Beban Haba Penyejukan	35
2.7.1.1	Faktor Perpindahan Haba (Faktor U)	36
2.7.1.2	Faktor Keberaliran Haba (Faktor K)	37
2.7.2	Beban Haba Disebabkan Kebocoran	39
2.7.2.1	Kebocoran Haba Melalui Dinding	39
2.7.2.2	Kebocoran Haba Melalui Lantai	40
2.7.2.3	Kebocoran Haba Melalui Siling	40
2.7.2.4	Kebocoran Haba Melalui Dinding Sekat	40
2.7.2.5	Kebocoran Haba Melalui Kaca	41
2.7.3	Beban Haba Suria	41
2.7.4	Beban Haba Manusia	43
2.7.5	Beban Haba Kelengkapan	44
2.7.6	Beban Ganti Udara	45
2.8	Faktor Keselamatan	46
2.9	Kesimpulan	46

BAB	III TEORI LOGIK KABUR	48
3.1	Pengenalan	48
3.2	Konsep Himpunan Bahagian	49
3.3	Pembolehubah Linguistik	50
3.4	Fungsi Keanggotaan	51
3.5	Hubungan Kekaburan	51
3.6	Model Matematik Logik Kabur	52
3.6.1	Set Kabur	52
3.6.2	Fungsi Pengoperasian Set Kabur	55
3.6.3	Fungsi Keanggotaan Set Kabur	59
3.6.4	Kaedah Menentukan Nilai Fungsi Keanggotaan	62
3.6.5	Aturan Kabur Jika - Maka	62
3.7	Konfigurasi Dasar Sistem Logik Kabur	64
3.7.1	Kekaburan	64
3.7.2	Asas Pengetahuan	65
3.7.2.1	Asas Data	66
3.7.2.2	Asas Kaedah	67
3.7.3	Logik Pengambilan Keputusan	67
3.7.4	Ketidak Kaburan	69
3.8	Kesimpulan	73
BAB	IV ANALISIS SISTEM DAN REKABENTUK LITAR PENGUKURAN	74
4.1	Pengenalan	74
4.2	Sistem Penghawa Dingin yang Dikaji	74
4.3	Kaedah Rancangan Logik Kabur	78
4.3.1	Masukkan Kekaburan	78
4.3.2	Aturan Dasar	79
4.3.3	Keluaran Ketidak kaburan	82

4.4 Simulasi yang Dilakukan	84
4.5 Perkakasan Kawalan	87
4.5.1 Pemultipleks	88
4.5.2 Pendarab (AD 633)	93
4.5.3 Penukar Puncakmin Kuasa Dua ke Arus Terus	95
4.5.4 Penukar Analog ke Digit PCAD 12/16H	96
4.6 Litar Ujikaji	98
4.6.1 Pengukuran suhu	98
4.6.2 Pengukuran kelembapan	102
4.6.3 Pengukuran Arus	103
4.6.4 Pengukuran Voltan	105
4.6.5 Pengukuran Kuasa	107
4.7 Kesimpulan	113
 BAB V KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	 114
5.1 Pengenalan	114
5.2 Data Keputusan Penyelidikan	115
5.3 Pengaruh Kaedah yang Dilakukan Terhadap Suhu Kelembapan dan Penjimatan Tenaga	128
5.4 Kesimpulan	129
 BAB VI KESIMPULAN DAN CADANGAN	 132
6.1 Kesimpulan	130
6.2 Cadangan Penyelidikan Untuk Masa Hadapan	132
 RUJUKAN	 133
 LAMPIRAN A – C	 137 – 180

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	HALAMAN
1.1	Kapasiti AHU Bangunan FKE Blok P07	6
1.2	Ramalan permintaan tenaga elektrik dan kapasiti yang disalurkan bahagi seluruh Semenanjung Malaysia (1996-2005)	9
2.1.	Suhu pengembunan dan tekanan pengembunan	23
2.2.	Suhu pemeluhan dan tekanan pemeluhan	23
2.3.	Faktor K bagi suatu bahan	38
2.4.	Piawai pengalih udara	46
4.1.	Kapasiti pemampat	75
4.2.	Keluasan bilik	75
4.3.	Baris atur	81
4.4.	Jedual kebenaran MAX 378	90
4.5.	Jadual kebenaran penyahkod 74LS139	92
4.6.	Alamat yang digunakan untuk PCAD 12/16H	97
5.1.a	Nilai bacaan suhu dan kelembapan untuk MMA dan MKL	114
5.1b	Nilai bacaan suhu dan kelembapan untuk bilik AHU	115
5.2	Penjimatan tenaga yang boleh diperolehi dalam keadaan cuaca luar berbeza	127

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1.1.	Termostat dengan pengesetan buka /tutup	4
1.2.	Sistem kawalan berdigit gelung-tertutup	5
1.3.	Kegunaan tenaga penghawa dingin berpusat	10
2.1.	Penghawa dingin pakej-unit	17
2.2	Kitar Carnot	20
2.3.	Lengkung keadaan gegelung yang ideal	24
2.4.	Perpindahan haba pada gegelung	26
2.5.	Blok sistem	30
2.6.	Sistem saluran udara yang digunakan	34
2.7.	Baban haba penyejukan	35
2.8.	Perbezaan faktor U dan faktor K	37
2.9.	Perpindahan haba melalui dinding	39
2.10.	Beban haba suria	43
2.11.	Beban haba manusia	44
3.1.	Nilai sepadan (a) Set klasik dan (b) Set kabur	54
3.2.	Fungsi keanggotaan (a) Set klasik dan (b) Set kabur	54
3.3.	Persilangan dua buah set kabur A dan B	56
3.4.	Kesatuan dua buah set kabur A dan B	57
3.5.	Pelengkap set kabur A dan B	58
3.6.	Perbezaan set kabur dengan set klasik	59
3.7.	Fungsi keanggotaan segitiga dengan $a=2$, $b=6$, $c=8$	60
3.8.	Fungsi keanggotaan trapezium dengan $a=2$, $b=4$, $c=8$	60
3.9.	Fungsi keanggotaan gaussian dengan $c = 1$; $\sigma = 5$	61
3.10.	Fungsi keanggotaan sigmoidal $x = [2 \ 4]$	61
3.11.	Konfigurasi sistem kendali logik kabur	64

3.12. Pembahagian fungsi segitiga (a) darjah keanggotaan (b)	66
3.13. Kaedah keanggotaan maksimum	69
3.14. Kaedah pusat graviti	70
3.15. Kaedah berat purata	70
3.16. Kaedah keanggotaan min-maksimum	71
3.17. Operator maks-min dengan kaedah pusat graviti	72
4.1. Sistem yang ada untuk AHU 1B	76
4.2. Panel AHU 1B dengan termostat	77
4.3. Pembahagian fungsi keanggotaan dari perubahan suhu	79
4.4. Pembahagian fungsi keanggotaan dari perbezaan masukkan kelembapan	80
4.5. Pembahagian fungsi keanggotaan dari perubahan penyesetan termostat	80
4.6. Carta alir rancangan sistem logik kabur	83
4.7. Simulasi kawalan yang dilakukan	84
4.8. Kawasan keselesaan suhu dan kelembapan	85
4.9. Sistem kabur yang digunakan sebagai kawalan	85
4.10a Besarnya kebezaan suhu dan kelembapan	86
4.10b Ketidak kaburan yang dihasilkan	87
4.11. Perkakasan penukar arus ke voltan	88
4.12a Rajah blok pemultipleks	89
4.12b Perkakasan pemultipleks	90
4.12c Litar pemultipleks	91
4.13. Pendarab IC AD 633 JN	93
4.14. Litar untuk menghilangkan riak keluaran	94
4.15. Litar pendarapan untuk IC AD 633JN	94
4.16. Litar pengubah puncakmin kuasa dua ke arus terus	95
4.17. Bentuk keluaran pengubah dengan masukan sinusoidal	96
4.18. Rajah blok daripada 12 bit pengubah analog ke digit	97
4.19. Litar pengesan suhu	98
4.20. Ciri-ciri kerja pengesan	99

4.21a	Pengesan suhu dan kelembapan di Makmal Mesin Asas	100
4.21b	Pengesan suhu dan kelembapan di luar bilik AHU 1B	100
4.21c	Pengesan suhu dan kelembapan di Makmal Kuasa Lanjut	101
4.21d	Pengesan suhu dan kelembapan dalam bilik AHU 1B	101
4.22.	Litar pengesan kelembapan	103
4.23.	Perkakasan pemasangan penukar arus	104
4.24.	Litar pengukuran arus	105
4.25.	Rajah perkakasan penukar voltan	106
4.26.	Litar pengukuran voltan	107
4.27a	Blok pengukuran secara berkomputer	108
4.27b	Litar pengukuran kuasa elektrik	108
4.27c	Perkakasan pengukuran kuasa	119
4.28.	Rajah blok kawalan	110
4.29.	Carta alir pembacaan nilai pengukuran	111
4.30a	Menu paparan dari pengukuran	112
4.30b	Rajah perkakasan kawalan	112
5.1a	Graf suhu tanpa kawalan termostat	116
5.1b	Graf kelembapan relatif tanpa kawalan termostat	117
5.2a	Graf suhu dengan kawalan pembetulan 1.81 dan 0.6	118
5.2b	Graf kelembapan dengan kawalan pembetulan 1.81 dan 0.6	119
5.3a	Graf suhu dengan kawalan pembetulan 2.40 dan 1.09	120
5.3b	Graf kelembapan dengan kawalan pembetulan 2.40 dan 1.09	120
5.4a	Graf suhu dengan kawalan pembetulan 1.65 dan 1.03	121
5.4b	Graf kelembapan dengan kawalan pembetulan 1.65 dan 1.03	122
5.5a	Graf suhu dengan kawalan pembetulan 2.16 dan 1.44	122
5.5b	Graf kelembapan dengan kawalan pembetulan 2.16 dan 1.44	123
5.6a	Graf suhu dengan kawalan pembetulan 2.07 dan 1.7	123
5.6b	Graf kelembapan dengan kawalan pembetulan 2.07 dan 1.7	124
5.7a	Graf suhu dengan kawalan pembetulan 3.17 dan 1.26	124
5.7b	Graf kelembapan dengan kawalan pembetulan 3.17 dan 1.26	125
5.8a	Graf suhu dengan kawalan pembetulan 3.55 dan 1.47	125
5.8b	Graf kelembapan dengan kawalan pembetulan 3.55 dan 1.47	126

SENARAI SIMBOL

\in	-	Unsur dari (simbol keanggotaan)
\notin	-	Bukan unsur dari (simbol bukan keanggotaan)
$ A $	-	Banyak unsur dalam A
\subset	-	Sub kumpulan dari (pemasukan)
\cup	-	Kesatuan
\cap	-	Persilangan
\bar{A}	-	Pelengkap A
$A \times B$	-	Pendaraban A dan B (kumpulan $\{(x, y) x \in A, y \in B\}$)
\forall	-	Untuk semua (pengkualifikasi universal)
\Rightarrow	-	Menjadikan
\Leftrightarrow	-	Menjadikan dan dijadikan oleh (ekivalen)
\exists	-	Terdapat
N	-	Kumpulan bilangan asli
R	-	Kumpulan bilangan nyata
R^+	-	Kumpulan bilangan nyata bukan negatif
R^n	-	Produk kartesian $R \times R \times \dots \times R$ (n factor)
(a, b)	-	Kumpulan $\{x a < x < b, x \in R\}$
\vee	-	Operator maksimum
\wedge	-	Operator minimum
\uparrow	-	Bertambah
\downarrow	-	Berkurang
MMA	-	Makmal mesin asas
MKL	-	Makmal kuasa lanjut
AHU	-	Unit pengolahan udara
Btu	-	Britis haba unit

ZE	-	Sifar
NS	-	Negatif kecil
NL	-	Negatif besar
PS	-	Positif kecil
PB	-	Positif besar
FLC	-	Kawalan logik kabur
$^{\circ}\text{K}$	-	Darjah Kelvin
$^{\circ}\text{C}$	-	Darjah Celsius
Rh	-	Kelembapan relatif
T	-	Suhu
Op-Amp	-	Penguat kendali
rms	-	Puncakmin kuasa dua
DC	-	Arus terus
ADC	-	Penukar analog ke digit
DAC	-	Penukar digit ke analog
COP_{ref}	-	Pekali prestasi bahan pendingin
KWj	-	Kilowatt jam
RH.MMA	-	Kelembapan Makmal Mesin Asas
RH. MKL	-	Kelembapan Makmal Kuasa Lanjut
T.MMA	-	Suhu Makmal Mesin Asas
T.MKL	-	Suhu Makmal Kuasa Lanjut
RM	-	Ringgit Malaysia
Q	-	Quantiti perpindahan haba
m	-	Jisim
P_i	-	Kuasa sebenar
v	-	Isipadu spesifik
p_i	-	Tekanan masuk
p	-	Tekanan keluar
dW	-	Kerja luar
dE_k	-	Perubahan tenaga kinetik
W	-	Kerja masukan bersih penghawa dingin
dQ	-	Perpindahan haba ke bahan pendingin

t_r	-	Suhu bahan pendingin
t_i	-	Suhu bebuli basah
h_r	-	Hantaran kealiran gabungan
h_c	-	Pekali olakan
c_{pm}	-	Haba spesifik campuran udara
h_i	-	Hantaran gabungan permukaan basah logam bersirip
h_a	-	Entalpi udara tepu
K_r	-	Pekali keamatan
θ_1	-	Suhu mutlak pemancar
θ_2	-	Suhu mutlak penerima
H	-	Pekali olakan
k	-	Pengaliran haba
A	-	Luas
W_L	-	Berat bahan
c_p	-	Haba tentu bahan
F	-	Daya
a	-	Pecutan
dV	-	Perubahan kelajuan
dt	-	Perubahan masa
h	-	Entalpi
g	-	Nilai graviti
E	-	Tenaga
U	-	Faktor perpindahan haba
K	-	Faktor keberaliran haba

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	HALAMAN
A	Pengiraan penjimatan tenaga	137
B	Spesifikasi penghawa dingin pakej-unit penyejukan air	151
C	Perisian yang digunakan	153

BAB I

PENGENALAN

1.1 Dasar Perancangan

Penjimatan penggunaan tenaga elektrik bagi penghawa dingin secara berpusat untuk kawasan yang beriklim tropika merupakan suatu yang sangat penting. Penghawa dingin secara berpusat digunakan secara meluas di dalam sektor komersial seperti di pusat membeli-belah, hotel, pejabat, jabatan pendidikan, dewan-dewan utama dan sebagainya. Untuk pengawalan suhu pada penghawa dingin secara berpusat biasanya dipasangkan sebuah termostat untuk mengendalikan kecekapan kerja pemampat sehingga pemampat dapat bekerja secara buka/tutup. Keadaan boleh berlaku ketika suhu udara pada ruang yang disejukan mencapai nilai pengesetan pada termostat yang ada, sehingga pemampat berhenti bekerja. Dengan ini untuk beberapa saat tertentu menyebabkan penggunaan tenaga boleh dijimatkan.

Penggunaan termostat pada penghawa dingin berpusat ini berbeza dengan penghawa dingin terpisah atau tingkap. Pada penghawa dingin berpusat, termostat ditempatkan pada bilik AHU manakala pada terpisah dan tingkap dipasang dalam ruangan yang disejukan. Termostat yang dipasang di AHU akan mengawal suhu yang ada pada bilik tersebut dan bukan pada bilik yang disejukan. Udara yang terdapat pada bilik AHU merupakan campuran udara kembali daripada ruangan yang disejukan melalui saluran kembali dengan udara luar. Seperti yang diharapkan, termostat akan dapat mengawal secara automatik dan menghentikan pemampat dari bekerja apabila suhu pada bilik AHU berada pada nilai yang telah ditetapkan. Perkara ini tidaknya berlaku setiap hari, tetapi bergantung kepada cuaca persekitaran.

Dalam pejabat dan jabatan pendidikan secara am penghawa dingin selalunya bekerja dari jam 08:00 pagi hingga jam 17:00 petang sepanjang waktu kerja. Kesejukan dalam ruangan yang disejukan dari masa ke semasa akan bertambah kerana beban haba penyejukan mulai berkurang dan udara sejuk dapat disimpan di dalam ruangan ketika cuaca di luar tidak berubah. Hal ini disebabkan oleh keadaan fizik ruangan seperti hambatan haba, sinaran haba dari luar, ukuran ruangan, dan bilangan penghuni orang yang ada di dalam ruangan tersebut. Apabila suhu dalam ruangan menurun serta tidak lagi dalam kawasan keselesaan yang diinginkan pada keadaan ini diharapkan pemampat berhenti bekerja kerana hal ini akan terasa kurang selesa.

Oleh kerana kemampuan manusia untuk menyesuaikan diri dalam lingkungan sesama manusia adalah berbeza, maka perlulah diperhatikan bahawa terdapat dua faktor penting untuk menerangkan peringkat kesejukan sesuatu ruangan di kawasan beriklim tropika iaitu :

- (i). Suhu merupakan suatu ukuran kesejukan atau kepanasan dari suatu objek yang dapat diukur dengan alat ukur, misalnya termometer. Tingginya darjah dari suhu akan mempengaruhi tingkat kesejukan dari suatu ruangan dan secara am dapat dibagi kepada tiga bahagian iaitu ; sejuk, normal (selesa), panas. Batasan keselesaan suhu untuk kawasan tropika adalah dalam julat $(20 - 25) ^\circ\text{C}$.
- (ii). Kelembapan merupakan banyaknya kandungan wap air yang terdapat pada udara dan dapat diukur dengan higrometer. Batasan keselesaan kelembapan untuk kawasan tropika adalah dalam julat $(40 - 70) \%$.

Kedua faktor di atas mempunyai pengaruh yang besar untuk mendapatkan suatu keadaan yang selesa bagi penyejukan ruangan oleh penghawa dingin. Ketidakseimbangan antara suhu dan kelembapan akan membuat seseorang merasa tidak selesa untuk melakukan aktivitinya dalam ruangan tersebut. Keadaan yang akan berlaku misalnya, (i) apabila suhu berada di bawah paras keselesaan dan kelembapan di atas paras keselesaan seseorang akan merasa sejuk dan lembap (ii) apabila suhu di atas paras keselesaan dan kelembapan di bawah paras keselesaan seseorang akan terasa hangat dan kering. Purata suhu permukaan kulit manusia pada kawasan

tropika adalah dalam lingkungan 33°C [1]. Keadaan ini dapat dicapai apabila haba sinaran yang dipancarkan adalah bersesuaian dengan haba yang dihasilkan oleh badan. Seseorang tidak akan merasa sejuk secara tiba-tiba apabila terjadi perubahan suhu persekitaran dan kembali kepada keadaan normal pada suhu $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$. Ini disebabkan badan manusia akan bertindak balas dan memberikan kesan dengan cepat apabila perubahan suhu berlaku iaitu terjadinya pengecilan saluran darah, maka perbezaan suhu udara luar dengan udara dalam bilik yang disejukan sebaiknya tidak melebihi daripada 7°C [1].

Untuk mengekalkan suhu yang ada pada ruangan yang disejukan terhadap perubahan suhu luar ruangan supaya tetap berada dalam kawasan keselesaan dilakukan suatu kawalan. Kawalan ini dilakukan dengan meningkatkan kecekapan kerja termostat yang ada dengan kawalan logik kabur supaya pemampat dapat bekerja dengan cekap dan efisien.

Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan berorientasikan manusia seperti pendekatan dengan menggunakan pemalar yang disebut sebagai pendekatan logik kabur [2]. Kegunaan sistem kawalan dengan logik kabur ini tidak hanya terhad secara simulasi sahaja, tapi telah banyak diuji pada proses perindustrian terutama untuk proses yang susah dimodelkan dengan cara biasa. Dengan demikian, sistem logik kabur ini memiliki kemampuan kawalan yang lebih cekap. Pengelompokan dapat dilakukan melalui dua cara iaitu;

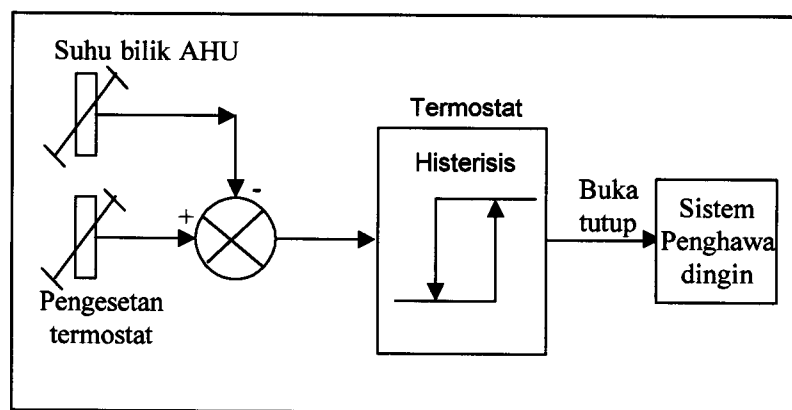
- (i). Secara langsung, spesifikasi dari fungsi ditentukan melalui algoritma pemindahan fungsi menggunakan Dasar-Aturan.
- (ii). Secara tidak langsung, iaitu spesifikasi dari fungsi didapatkan melalui pengumpulan sendiri dari informasi data masukan dan keluaran dengan memberikan satu latihan.

Secara amnya sistem kawalan logik kabur dapat dikatakan sebagai kawalan cerdas dan dapat dibahagi kepada dua bahagian utama iaitu :

- (i). Sistem kawalan dengan logik kabur statik, merupakan sistem kawalan yang dapat dikatakan sebagai sistem pakar kerana aturan dasar yang digunakan bersifat statik dan berasal dari seorang operator ahli atau pakar.

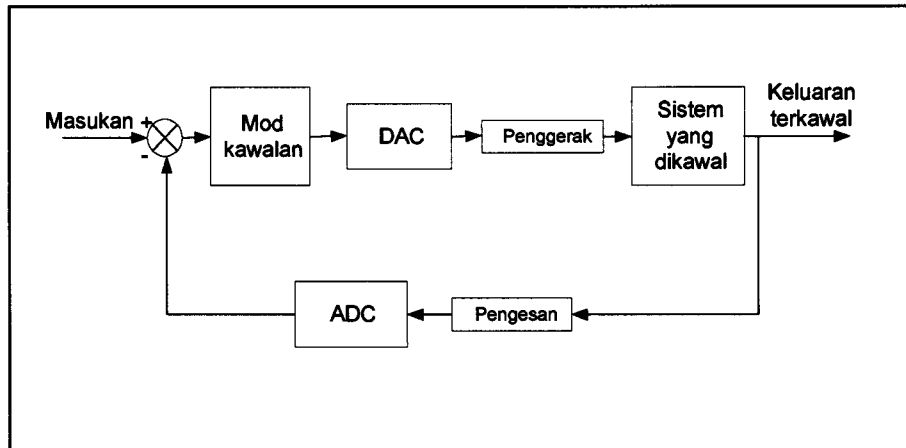
- (ii). Sistem kawalan dengan logik kabur pembelajaran, merupakan sistem kawalan yang dapat dikatakan sebagai sistem pembelajaran aturan dasar yang digunakan bersifat dinamik yang selalu disesuaikan terhadap perubahan.

Dalam hal ini, logik kabur yang dibangunkan merupakan logik kabur statik sebagai kawalan pada penghawa dingin berpusat yang digunakan untuk mengawal pemampat pada termostat yang ada. Secara konvensional, termostat merupakan pengawal kecekapan kerja pemampat secara buka/tutup supaya suhu pada bilik yang dikawal dapat dikekalkan dengan pengesetan termostat pada bilik AHU. Pengesetan dilakukan pada nilai 25°C dengan kaedah pembanding antara suhu dalam bilik AHU dengan pengesetan pada termostat seperti Rajah 1.1.



Rajah 1.1. Termostat dengan pengesetan buka /tutup

Apabila suhu dalam bilik AHU mencapai nilai yang sama dengan nilai pengesetan, maka termostat akan membuka sehingga pemampat berhenti bekerja sampai terjadinya kenaikan suhu dalam bilik [17]. Keadaan ini menunjukkan hubungan antara masukan dan keluaran daripada sistem, di mana masukan merupakan penyebab dan keluaran merupakan kesan yang akan memberikan persamaan kebezaan tingkah laku sistem dari kawalan. Rajah 1.2 menunjukkan suatu gelung-tertutup sistem kawalan berdigit [4].



Rajah 1.2 Sistem kawalan berdigit gelung-tertutup

Kelebihan kawalan berdigit berbanding dengan kawalan analog adalah tahap kecekapan mengubah mod kawalan dan ketepatannya. Pada kawalan ini pengesan dipasang untuk membaca perubahan yang berlaku pada keluaran. Perubahan-perubahan tersebut ditukar ke dalam bentuk digit. Dengan membandingkan masukan terhadap perubahan didapatkan suatu perbezaan. Perbezaan ini merupakan masukan dari mod kawalan yang digunakan. Keluaran dari mod kawalan ditukar ke bentuk analog yang akan memberikan pembetulan pada sistem yang dikawal.

Universiti Teknologi Malaysia merupakan suatu Institusi Pendidikan Tinggi Awam (IPTA) yang terkemuka di Malaysia di dalam bidang sains dan teknologi khususnya dalam bidang kejuruteraan. Kampus induknya adalah terletak di Skudai, Johor yang mempunyai terdiri dari beberapa fakulti dan untuk setiap fakulti terdiri dari beberapa blok. Pada setiap blok mempunyai sistem penghawa dingin berpusat sendiri.

Penyelidikan ini ditumpukan di Fakulti Kejuruteraan Elektrik (FKE). Hampir kesemua blok di FKE dilengkapi dengan sistem penghawa dingin jenis pakej-unit penyejukan air. Setiap aras mempunyai 1 atau 2 bilik AHU yang dilengkapi dengan sistem pendinginan air yang mengalir dari menara penyejuk ke bilik AHU. Terdapat 7 bilik AHU dipasang di bangunan FKE blok P07 seperti terdapat di Jadual 1.1.

Jadual 1.1: Kapasiti AHU Bangunan FKE Blok P07

Aras	Nombor AHU	Kapasiti Penyejukan Nominal (Btu/jam)
1	1B	330,000
2	1A	173,000
	2B	220,000
3	2A	126,000
	3B	173,000
4	3A	290,000
	4B	255,000

Penyelidikan ini dijalankan pada blok P07 aras 1 iaitu pada AHU 1B. Di sini terdapat 3 buah pemampat yang mempunyai kuasa yang sama besar iaitu 7.5 HP dan bekerja secara selari. Daripada ketiga-tiga pemampat tersebut, hanya satu pemampat sahaja yang dikawal dengan termostat sementara dua yang lainnya bekerja secara terus menerus. Oleh itu penggunaan tenaga dapat dijimatkan hanya melalui satu pemampat sahaja. Pengawalan suhu dilakukan dengan menggunakan termostat yang dipasang pada bilik AHU. Ini memberikan nilai bacaan suhu pada setiap bilik yang dikawal berbeza daripada nilai yang telah disetkan pada termostat. Untuk mengatasi masalah ini, suatu sistem kawalan telah dibangunkan. Penyelidikan ini telah menghasilkan suatu sistem kawalan penghawa dingin secara berpusat.

Dalam pelaksanaan kawalan ini, pemantauan telah dilakukan terhadap sistem penghawa dingin tersebut. Pemantauan dilakukan pada dua bilik yang telah dikenal pasti iaitu, Makmal Mesin Asas (MMA) dan Makmal Kuasa Lanjut (MKL). Pada kedua-dua makmal telah dipasang pengesan suhu dan kelembapan. Pemasangan pengesan bertujuan untuk mendapatkan perubahan yang terjadi pada suhu dan kelembapan dalam bilik tersebut. Perubahan suhu dan kelembapan direkod secara berterusan dengan menggunakan sebuah komputer. Dengan menggunakan sistem logik kabur yang direka bentuk, pembetulan dapat dilakukan pada pengesetan termostat semasa terjadinya perbezaan antara nilai suhu dan kelembapan yang dikawal. Dengan ini sistem penghawa dingin dapat bekerja lebih cekap dan penggunaan tenaga dapat dijimatkan untuk memberikan keselesaan dalam sesebuah ruangan.

1.2 Penjanaan Tenaga Elektrik di Malaysia

Malaysia adalah sebuah negara yang berkembang pesat di Asia Tenggara, jumlah penduduk 23.26 juta dengan keluasan 342,000 km² [6]. Berasaskan geografi, Malaysia terletak di kawasan khatulistiwa antara 1° 20' hingga 6° 40' lintang Utara dan dari 99° 35' hingga 103° 20' bujur Timur, dengan ini mempunyai iklim tropika dengan dua musim iaitu musim panas dan musim hujan.

Pertumbuhan keperluan tenaga elektrik tahunan di negara ini sentiasa meningkat sejajar dengan pertumbuhan penduduk. Keadaan ini menyebabkan mendapat perhatian besar daripada kerajaan tentang perlunya penjimatan dalam penggunaan tenaga elektrik. Berkaitan dengan itu kerajaan Malaysia sudah menentukan bahawa tenaga boleh diperbaharui[6]. Keputusan kerajaan untuk menggunakan tenaga boleh diperbaharui untuk masa mendatang sangatlah tepat kerana mengikut penaksiran keperluan elektrik dan kapasiti terpasang untuk Semenanjung semakin meningkat.

Tenaga elektrik terpasang di Malaysia sekarang adalah sebanyak 14,709 MW. Ia dibekalkan oleh penjana gas 8,604.76 MW (58.5 %), minyak 1,912.17 MW (13.0 %), campuran minyak dan gas 1188.48 MW (8.08 %), arang batu 706.03 MW (4.8 %) dan hidro 1,971.006 MW (13.4 %) [6]. Ternyata hampir 85 % penjanaan elektrik di Malaysia merupakan penjanaan yang berasal dari bahan api hidrokarbon. Pembakaran bahan api fosil ini akan menghasilkan CO₂ yang dapat menimbulkan kesan rumah hijau yang berbahaya bagi persekitaran.

Tenaga elektrik adalah merupakan unsur terpenting di dalam pembangunan sesebuah negara. Ianya digunakan secara meluas di kebanyakan sektor-sektor yang melibatkan sektor perindustrian, pengangkutan, perumahan dan bangunan. Pada tahun 1986 sektor perindustrian menggunakan sebanyak 37% daripada keseluruhan penggunaan tenaga elektrik di Malaysia. Permintaan tenaga elektrik di sektor perindustrian dijangka akan terus meningkat dengan perkembangan ekonomi dan pertumbuhannya yang begitu pesat terutamanya di sektor pengeluaran.

Di Malaysia, kadar kenaikan setiap tahun penggunaan tenaga elektrik adalah sebanyak 18.8 % bagi tahun (1985-1990) dan sebanyak 12% bagi tahun (1991-1995) penggunaan tenaga elektrik termasuklah penggunaan lampu, mekanikal, loji penyaman dan penghawa dingin [6]. Pada tahun 1991 penggunaan tenaga elektrik adalah sebanyak 5898 MW berbanding dengan hanya 3436 MW pada tahun 1989 dan 7063 MW pada tahun 1996. Permintaan tenaga elektrik terus meningkat di semenanjung Malaysia dan dijangka akan melebihi 15389MW menjelang tahun 2005. Kapasiti penggunaan elektrik di Malaysia dijangka akan mencapai sekitar (25000 – 30000) MW pada tahun 2020 [7].

Tenaga elektrik begitu penting dan sangat diperlukan untuk pertumbuhan ekonomi Malaysia. Oleh itu bekalan tenaga elektrik yang mencukupi dan berterusan semakin diperlukan bagi memenuhi permintaan dan keperluan penduduk dari sektor-sektor perindustrian negara ini. Dianggarkan pertumbuhan ekonomi sebanyak 8% setahun bagi lima tahun yang akan datang dan sebanyak 7% bagi sepuluh tahun berikutnya.

Permintaan ini sangatlah ketara di Semenanjung Malaysia dengan penggunaannya hampir 90% daripada jumlah tenaga elektrik yang digunakan di negara ini. Ia merupakan salah satu tenaga yang sangat penting dengan kenaikan kos yang begitu cepat sejak tahun 1973 [7]. Maka penjimatan penggunaan tenaga elektrik di negara ini perlulah dilakukan bagi mengatasi masalah di atas.

Jadual 1.2 menunjukkan ramalan permintaan tenaga elektrik dan kapasiti yang disalurkan bagi seluruh Semenanjung Malaysia sehinggalah menjelang tahun 2005 [7]. Dapat dilihat bahawa pada tahun 2000 dan ke atas berlaku kekurangan tenaga kapasiti yang disalurkan.

Jadual 1.2 : Ramalan permintaan tenaga elektrik dan kapasiti yang disalurkan bagi seluruh Semenanjung Malaysia (1996-2005)

Tahun	Permintaan penjana (TWh)	Permintaan puncak (MW)	Permintaan puncak+batasan (MW)	Kapasiti terpasang (MW)	Kelebihan Kekurangan (MW)
1996	37	7063	9535	10110	575
1997	41.4	7901	10666	11400	734
1998	45.6	8677	11714	12548	834
1999	50.1	9528	12863	13048	185
2000	55	10448	14105	13988	-117
2001	60.4	11451	15459	13988	-1471
2002	66.3	12545	16936	13988	-2498
2003	72.6	13727	18532	15588	-2944
2004	79.5	15006	20258	15588	-4670
2005	87	15389	22125	15588	-6357

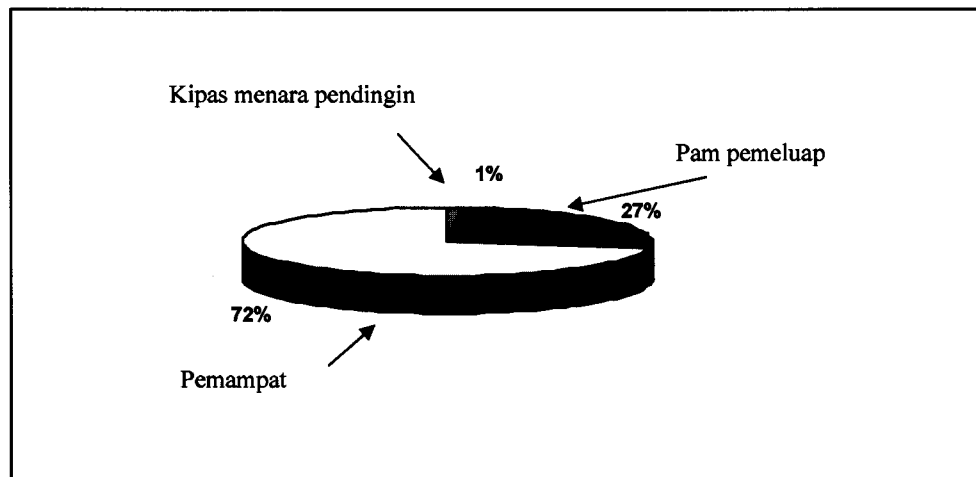
1.3 Pengurusan Tenaga

Sumber tenaga yang terdapat pada masa sekarang adalah minyak dan gas asli yang dijangka akan terus berkurang dari masa ke semasa [9,10]. Oleh itu aktiviti penjimatan tenaga dan pengurusan tenaga yang sistematik akan dapat memastikan jangka hayat sumber tenaga di Malaysia akan bertahan lama. Di samping itu, penggunaan tenaga yang cekap tanpa berlakunya sebarang pembaziran akan dapat memastikan kos pengoperasian dapat dikurangkan. Cara yang terbaik dalam memastikan pengurusan tenaga elektrik yang cekap adalah dengan mengurangkan penggunaan tenaga utama dengan meningkatkan proses kecekapan kerja dari suatu sistem.

1.4 Kegunaan Tenaga Bagi Penghawa Dingin

Di dalam sesebuah bangunan komersial, penggunaan tenaga bagi penghawa dingin adalah sangat besar iaitu, 60% apabila dibandingkan dengan keperluan lain seperti perlampuan, terutama untuk jenis berpusat. Hal ini berlaku kerana tenaga

digunakan untuk sistem pemampatan dan komponen lain dari sistem penghawa dingin secara menyeluruh. Penggunaan tenaga daripada penghawa dingin berpusat dapat dibahagikan kepada tiga bahagian secara keseluruhan seperti ditunjukkan oleh Rajah 1.3 [11].



Rajah 1.3 Kegunaan tenaga penghawa dingin berpusat

Merujuk pada Rajah 1.3 sebanyak 72% dari keperluan tenaga digunakan untuk proses pemampatan, 27% untuk proses pam pemeluap dan 1% digunakan untuk kipas menara pendingin. Proses pemampatan merupakan pengguna tenaga yang tinggi berbanding dengan pemeluap dan kipas menara pendingin dari suatu sistem penghawa dingin berpusat. Dengan meningkatkan kecekapan termostat yang ada akan meningkatkan kecekapan pemampat secara buka/tutup sehingga tenaga dapat di manfaatkan sepenuhnya untuk kegunaan penyejukan dengan lebih jimat.

1.5 Kajian Literatur

Beberapa penyelidikan telah dilakukan dengan pelbagai kaedah, supaya kecekapan penghawa dingin dapat dilaksanakan bagi memastikan penjimatan tenaga dapat dilakukan.

Pada tahun 1991 S Huang dan RM. Nelson telah melakukan kajian mengenai pengaruh pengudaraan daripada haba menggunakan kawalan gabungan PID dengan logik kabur. Kawalan dilakukan dengan mengawal perubahan suhu dengan HVAC pada ruangan yang disejukan[12].

Pada tahun (1993) H Salehfar, PJ Noll, BJ LaMares, M.H Nehril, dan V Geres telah melakukan penyelidikan tentang pengaruh beban penyejukan terhadap suhu ruangan pada sistem penghawa dingin dengan logik kabur [13].

Pada tahun (1993) Haubold Vom Berg mengemukakan dalam sebuah makalahnya penggunaan logik kabur sebagai kawalan suhu daripada suatu penghawa dingin. Dalam tulisan ini diterangkan penggunaan pemalar hubungan antara suhu dengan tekanan bahan pendingin. Dengan mengawal operasi pemampat sehingga suhu dapat dikawal untuk menghasilkan penjimatan dalam penggunaan tenaga [14].

Pada tahun (1995) Krakow I Kalman, Sui Lin dan Zhao Shui Zeng melakukan penyelidikan untuk mengawal suhu dan kelembapan pada sebuah ruangan menggunakan logik kabur [15] dan tahun (1998) Sh Tassou dan TQ Qureshi melakukan penyelidikan tentang pengawalan kecepatan putaran motor pemampat terhadap perubahan suhu dengan mengendalikan frekuensi dari motor pemampat antara 25 hingga 75 Hz [16].

Pada tahun (1996) *'Internet journal computer application circuit cellar ink'* telah memaparkan pelbagai masukan pembolehubah bagi logik kabur untuk penghawa dingin seperti; suhu, histerisis, kecerahan suatu ruangan dengan kawalan termostat tetapi tidak menggunakan kelembapan sebagai pembolehubah [17].

Pada tahun (1997) W Huang dan HN Lam melakukan penyelidikan untuk penjimatan tenaga bagi penghawa dingin kaedah HVAC dengan menggunakan algoritma genetik. Pengesetan suhu dilakukan pada 20 °C untuk mengawal aliran bahan pendingin pada injap pengembangan dengan menggunakan pemalar suhu sebagai masukan [18].

Pada tahun (1999) Kim Jung Ho, Kim Kyung Sik, Min Sub Sim, Han Kyung Hae dan Suk Bum Ko melakukan penyelidikan aplikasi dari logik kabur untuk mengawal aliran bahan pendingin [19].

Pada tahun (1999) Famio Yamada, Kenzo Yonezawa, Susumu Sugawa dan Nobutaka Nishimura melakukan penyelidikan tentang penjimatan tenaga bagi penghawa dingin dengan PMV (*Predicted Mean Vote*) untuk mendapatkan kawasan keselesaan dalam suatu ruangan pejabat dengan logik kabur dan neuro [20].

Pada tahun (2000) Hernandez OS, Karvajal F dan Koury RNN melakukan penyelidikan untuk mengawal aliran bahan pendingin pada injap pengembangan. Penyelidikan dijalankan dengan menggunakan kawalan gabungan PD dengan logik kabur untuk penghawa dingin jenis split [21].

Pada tahun (2001) A.I Dounis dan DE Manolakis melakukan penyelidikan tentang batasan keselesaan suhu pada ruangan berdasarkan kegiatan yang dilakukan sebagai beban haba dari penyejukan dengan menggunakan logik kabur. Pembahagian kawasan dilakukan pada julat $(20 - 23) ^\circ\text{C}$ pada musim hujan dan $(23 - 26) ^\circ\text{C}$ pada musim panas [22].

Pada tahun (2001) Gopal P. Maheshwari, Hanay Al-Taqi, Raba'a Al-Murad dan Rajinder K.Suri melakukan penyelidikan tentang pengawalan suhu dengan menggunakan termostat secara konvensional untuk penjimatan tenaga bagi penghawa dingin. Kajian ini dilakukan di negara Kuwait dengan pengesetan termostat dilakukan pada julat $(23 - 28) ^\circ\text{C}$ [23].

Pada tahun (2002) Zhiqiang Gao, Thomas A Trautzsch dan James G Dawson melakukan penyelidikan pengawalan suhu pada penghawa dingin. Kawalan dilakukan dengan kaedah PID dan Fuzzy. Dari hasil diperolehi logik kabur telah memberikan hasil yang lebih baik berbanding PID untuk pengaturan suhu pada suatu ruangan. Pada kawalan ini pemalar yang digunakan adalah suhu [24].

Pelbagai bentuk penyelidikan telah dilakukan untuk meningkatkan kecekapan operasi sistem penghawa dingin jenis tingkap dan terpisah dengan pembolehubah

iaitu suhu dan terhad pada satu ruangan sahaja. Walaupun ada yang menggunakan parameter kelembapan hal ini tidak dilakukan pada penghawa dingin berpusat. Pada penyelidikan ini peranan kawalan terhadap penghawa dingin jenis berpusat telah dilakukan dengan menggunakan parameter kawalan suhu dan kelembapan bagi dua ruangan yang disejukan. Penyelidikan ini bertujuan untuk meningkatkan kecekapan termostat yang ada dengan logik kabur serta melakukan penjimatan penggunaan tenaga dalam kawasan keselesaan.

1.6 Objektif

Objektif kajian ini adalah :

- Untuk memperbaiki kecekapan penghawa dingin unit berpusat terhadap kawalan termostat berasaskan logik kabur;
- Melihat pengaruh parameter fizikal terhadap sistem kerja supaya suhu dan kelembapan ruangan yang dikawal berada dalam paras kawasan keselesaan iaitu tidak melebihi daripada 25°C dan 70%;
- Menjalankan ujikaji simulasi kawalan termostat dengan perisian Matlab;
- Melakukan ubahsuai terhadap kawalan penepatan termostat pada sistem sebenar untuk mendapatkan penjimatan dalam penggunaan tenaga.

1.7 Skop Kajian

Skop kajian dihadkan pada penghawa dingin berpusat yang terdapat pada Aras 1, Blok P07 Fakulti Kejuruteraan Elektrik, Universiti Teknologi Malaysia dengan kapasiti 330,000 Btu/jam untuk penyejukan “Makmal Mesin Asas dan Makmal Kuasa Lanjut”. Kawalan yang dilakukan dengan mengubah suai pengesetan termostat yang ada dengan melakukan simulasi terhadap sistem berdasarkan data yang diperolehi iaitu, data suhu dan kelembapan, dengan logik kabur melalui perisian Matlab. Melakukan pembetulan pada termostat yang disetkan berdasarkan data

daripada simulasi yang terdapat pada sistem yang sebenar. Pembacaan data dapat dilakukan secara komputer melalui kumpulan data dengan memasang pengesan suhu dan kelembapan pada setiap ruangan yang diawasi.

Data keluaran pengesan dibaca secara berkomputer melalui sebuah antara muka berupa data analog yang kemudian diubah ke data digital 12 bit melalui ADC. Data ini akan diproses dengan menggunakan perisian Delphi yang kemudian dapat menampilkan data suhu, kelembapan, arus, voltan dan kuasa yang digunakan oleh penghawa dingin tersebut selama bekerja.

1.8 Susunatur Tesis

Tesis ini mengandungi 6 Bab. Selepas bab ini, Bab 2 mengandungi maklumat kajian yang telah dilakukan, perincian mengenai sistem penghawa dingin yang sedia ada serta komponen yang berkaitan dan proses operasi sistem tersebut.

Bab 3 menerangkan latar belakang teori, teknik dan konsep rekabentuk sistem kawalan logik kabur pada sistem penghawa dingin secara berpusat serta pemalar yang mempengaruhi dalam kajian ini.

Dalam Bab 4 pula dihuraikan secara menyeluruh ringkasan, kaedah ujikaji, sistem kawalan yang dilakukan dan peralatan yang digunakan. Disertakan juga litar ujikaji pada kawalan sistem penghawa dingin secara berpusat yang dibina serta data yang diperolehi daripada hasil ujikaji yang dilakukan.

Bab 5 menghuraikan secara terperinci hasil dan cerapan daripada data ujikaji yang diperolehi. Kesan suhu dan kelembapan terhadap kawalan penghawa dingin yang telah dibina serta penjimatan tenaga yang diperolehi. Dalam Bab 6 disertakan kesimpulan kajian dan cadangan penyelidikan di masa hadapan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN CADANGAN

6.1 Kesimpulan

Daripada penyelidikan yang telah dijalankan, beberapa kesimpulan boleh rumuskan

- (i) Penyelidikan ini telah menghasilkan suatu skim penjimatan penggunaan tenaga pada suatu sistem penghawa dingin berpusat dengan menggunakan kawalan fuzzy.
- (ii) Paras keselesaan ditetapkan pada 25°C dan kelembapan pada 70% telah digunakan sebagai sasaran bagi suhu dan kelembapan relatif pada setiap ruang yang disejukan. Pembetulan pengesetan pada termostat yang melebihi 25°C dilakukan dengan aturan dasar fuzzy yang direkabentuk. Pembetulan dilakukan bergantung pada keadaan cuaca diluar. Ketika cuaca hujan dan mendung didapati nilai maksimum pembetulan iaitu 3.55°C . Sementara cuaca cerah didapati pembetulan minimum iaitu 1.65°C dengan pengesetan baru termostat 26.65°C pada nilai kawalan 66 % NS dan 34 % ZE.
- (iii) Skim yang dicadangkan telah dapat mengekalkan suhu dan kelembapan pada setiap ruangan yang dibekalkan oleh penghawa dingin berpusat mendekati sasaran yang telah dibuat. Penggunaan

pengesan suhu dan kelembapan telah dapat membantu pembacaan nilai dari perubahan suhu dan kelembapan secara cekap dengan menggunakan mikrokomputer.

- (iv) Kawalan telah diuji pada dua makmal yang dibekalkan oleh penghawa dingin berpusat yang ada pada aras 1 blok P07 Fakulti kejuruteraan Elektrik Universiti Teknologi Malaysia. Lokasi tempat penyelidikan ini dilakukan pada suatu negeri yang terletak di kawasan katulistiwa dengan iklim tropika di mana cuacanya sangat lembab dan panas.
- (v) Penyelidikan telah dijalankan hampir setiap hari kerja dari tarikh (18-05-2002) hingga (10-09-2002) dalam keadaan cuaca yang berbeza-beza diantaranya hari cerah dan panas, sebahagiannya hujan dan cerah atau hari berawan. Kawalan fuzzy yang direkabentuk telah dapat mengekalkan suhu dan kelembapan mendekati batasan atas kawasan keselesaan di dalam setiap makmal walaupun cuaca di luar sangat panas dan kelembapan melebihi dari 70%. Purata tenaga yang dapat dijimatkan adalah 27.49 kWj /hari dari 198 kWj /hari. Dengan ini penjimatan sebanyak RM 5.99 / hari atau RM 1725.9/ tahun/AHU.
- (vi) Kebaikan kawalan yang dibuat di samping menjimatkan penggunaan tenaga dan kos operasional termasuklah (i) mudah dan pragmatik, (ii) memerlukan hanya dua masukan sahaja untuk setiap ruangan yang dikawal dan (iii) dapat memberikan tahap kesejukan secara universal iaitu suatu tahap kesejukan yang dapat menyesuaikan hampir semua orang dalam berbagai keadaan cuaca. Dasar kawalan yang dibangunkan dapat diterapkan dikebanyakan pemasangan yang menggunakan suatu sistem kawalan suhu pada penghawa dingin berpusat.

6.2 Cadangan Penyelidikan yang Akan Datang

Ujikaji yang dilakukan terhadap kawalan penghawa dingin berpusat pakej unit dengan menggunakan logik fuzzy telah memberikan penjimatan dalam penggunaan tenaga. Beberapa saranan dicadangkan untuk penyelidikan selanjutnya termasuklah

- (i) Untuk mendapatkan kawalan secara terus yang lebih baik dan penjimatan tenaga lebih besar, kawalan secara berterusan hendaklah dihubungkan terus kepada termostat sehingga setiap perubahan nilai kawalan dapat memberikan pengesetan termostat.
- (ii) Penggunaan termostat untuk mengawal kerja pemampat bukanlah untuk satu pemampat sahaja. Penjimatan tenaga hanya boleh dilakukan secara terhad pada satu pemampat yang terhubung pada termostat tersebut dan yang lain masih tidak dapat dikawal. Akibatnya kawalan menjadi lebih susah dilakukan bagi mengekalkan suhu pada bilik yang disejukan pada sasaran yang telah ditetapkan.
- (iii) Untuk mendapatkan suhu dan kelembapan mendekati kawasan keselesaan serta penjimatan tenaga dapat di optimumkan, suatu kaedah lain dicadangkan iaitu dengan menggunakan 'Genetic Algorithm' kerana metode ini boleh memberikan pengoptimuman dalam pengambilan keputusan dari kawalan yang dibuat

RUJUKAN

1. Arismunandar, W. and Saito, H. (1986). *Penyegaran Udara*. Jakarta. : PT. Pradya Paramita.
2. Kaufman, A. (Ed.) (1975). *Theory of Fuzzy Subsets*. : Academic Press. Inc. Volume 1.
3. Stocker, WF. (1958). *Refrigeration and Air Conditioning*. USA. : McGraw-Hill Book Company, Inc.
4. Ogata, K. (1996). *Kejuruteraan Kawalan Moden*. Alih Bahasa Ahmad Safawi Mokhtar, Mazlina Esa, Md Noh Ahmad. : Universiti Teknologi Malaysia.
5. Hidayat. (2000). *Perancangan dan Implementasi Sistem Pengendalian Kecepatan Mesin DC Brushless (MDCB) Menggunakan Logika Fuzzy*. Institut Teknologi Bandung: Tesis Master.
6. Jabatan Bekalan Elektrik dan Gas Malaysia (1999). *Statistik Industri Bekalan Elektrik Malaysia*. Malaysia.
7. Abdul Aziz Bin Abdul Rahman (1995). *Penjangkaan Keperluan Tenaga di Malaysia*. Seminar Tenaga Kebangsaan Tenaga Untuk Generasi Masa Hadapan. pp 322-333.
8. Johnson, C.D (1997). *Process Control Instrumentation Technology*. New Jersey. USA. : Prentice-Hall International, Inc.
9. Wan Mohd Yusoff Wan Othman and Yeo, Poh Meng (1988). *Energy Management- A New Formula*. *Seminar on Energy Management jointly*

organized by the Ministry of Energy, Telecommunication Posts and Japan External Trade Organization. Kuala Lumpur.: (Jetro).

10. The Ministry of Energy (1991). *The energy sector in Malaysia. Telecommunication and Posts Malaysia.*
11. Hartini Omar (1994). *Simulation of SHEAP in Air Conditioning System for Energy Saving.* Universiti Teknologi Malaysia. : Tesis Master.
12. Huang, S. and Nelson, R.M. (1991). A PID Low Combining Fuzzy Controller for HVAC. *ASHRAE Transactions.* : Vol. 97, Part 2, pp 768-774.
13. Salehfar, H., Noll, P.J., LaMares, B.J., Nehril, M.H. and Geres, V. (1999). Fuzzy Logic Based Direct Load Control of Residential Electric Water Heaters and Air Conditioner Recognizing Costumer Preferences in a Deregulated Environment. *IEEE Transaction on Power System:* Vol 8 nol.
14. Berg, H. V. (1993). Fuzzy logic a clear choice for temperature control. *Mak Coatesville. Jumo process control. Inc.:* PA 19320.
15. Kalman, K. I., Sui, Lin. and Zhao, Shui Zeng (1995). Temperature and Humidity Control during Cooling and Dehumidifying by Compressor end evaporator Fun Speed Variation. *ASHRAE Transaction.* Vol 101, part 1, pp 294-304.
16. Tassou, S.h. and Qureshi, T.Q. (1998). Comparative Performance Evaluation of Positive Displacement Compressor in Variable Speed Refrigeratio Applications. *International Journal Refrigerant:* Vol. 21. No.1, pp 2941.
17. Constantine von Altrock, October (1996). A Fuzzy-Logic Thermostat. *Circuit Cellar Ink Computer Applications Journal.* : No. 75, pp.1-4.
18. Huang, W. and Lam, H. N (1997). Using Genetic Algorithms to Optimize Control Parameters for HVAC Systems. *Energy and Buildings .Elsevier* : Vol. 26, pp.277-282.

19. Kim, Jong Ho., Kim, Kyung Sik., Han, Kyung Hae and Suk, Bum Ko. (1999)
An Application of Fuzzy Logic to Control the Refrigerant Distribution
for The Multi Type Air Conditioner. *IEEE International Journal Fuzzy
System Conference Proceeding.* : pp 22-25 Seol Korea.
20. Yamada, F., Yonezawa, K., Sugawara, S. and Nishimura, N. (1999)
Development of Air-conditioning Control Algorithm for Building
Energy-Saving. *IEEE International Conference on Control Applications*,
August 22-27, Hawaii, USA. pp. 1579-1584.
21. Hernandez, O. S., Carvajal, F., Koury, R.N.N. (2000). Implementation of a
Fuzzy Logic Expansion Valve Control for Small Refrigeration Systems.
*International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion
Proceedings, Bandung. Indonesia.* : Vol 32, No. 1, pp.303 – 331.
22. Dounis, A. I. and Manolakis, D.E. (2001). Design of a Fuzzy System for
Living Space Thermal-Comfort Regulation. *Applied Energy Elsevier*:
Vol.69, pp. 119-144.
23. Maheshwari, G. P., Al-Taqi, Hanay. Al-Murad, Raba'a and Rajinder K. Suri
(2001). Programmable Thermostat for Energy Saving. *Energy and
Buildings Elsevier.* : vol. 33, pp.667-672.
24. Zhiqiang, Gao. Trautzsch, T. A. and Dawson, J. G. (2002). A Stable Self-
Tuning Fuzzy Logic Control System for Industrial Temperature
Regulation. *IEEE Transactions on Industry Application.* : vol. 38. No. 2,
pp. 414 – 424.
25. Anderson, E. P (1973). *Air Conditioning*. USA...: First Edition Howard
W.sams & Co. Inc,
26. Lang, P. V. (1987). *Principles of Air Conditioning*. New York. : Delmar
publishers Inc.,
27. Pita, E. G. (1981). *Air Conditioning Principles and Systems-An Energy
Approach*. New York. : .John Wiley & Sons,

28. Enander, P. E. and Anders, S (1999). *The Matlab 5 Hand Book*. Pearson Education Limited. Edition. : Wesley Longman Limited.
29. Jamshidi, M., Ross, T. J. and Nader, V. (1993). *Fuzzy Logic and Control Software and Hardware Application*. : Prentice -Hall.Inc.
30. Roger, J. S. and Ned, G. (1995). *Fuzzy Logic Toolbox for Use with Matlab*. : The Math Works. Inc.
31. The Math Works Inc. (1999). *Simulink Dynamic System Simulation for Matlab*. : Math Works.Inc.
32. Shahian, B and Hassual, M (1993). *Control System Design Using Matlab*. : Prentice -Hall.Inc.
33. Ross, T. J. (1995). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. New York. : McGraw-Hill,
34. Dabney, J. B. and Harman, T. L. (1996). *The Student Edition of Simulink Dynamic System Simulation for MATLAB*. New Jersey. : Prentice Hall,
35. Jang, J. S. R. and Gulley, N (1996). *Fuzzy Logic TOOLBOX for Use with MATLAB*. Massachusetts. : The. Math works, Inc.,
36. Klir, J G., Yuan, Bo. (Ed.) (1996). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy System*. USA. : World scientific publishing Co Pte Ltd.
37. Saiful Jamaan, (2000). *Rekabentuk Pengawal Set Mikroalternator Secara Berkomputer*. Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Master.
38. H. Anderson, Peter and Collins Nakia (2001). *Measuring Relative Humidity with a Honeywell HIH-3605*. Sensing and Control: Honeywell Inc.